

В.Г. Вурынди́н, В.В. Глу́хих, С.В. Томи́лова
(Уральская государственная лесотехническая академия)

ИЗУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА КФС ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ДСтП

Приведены результаты определения функционального состава синтезированных КФС: МГ, ММК, ТА, ОА, (ПА+ВА)/МГ. Установлена взаимосвязь свойств ДСтП и функционального состава КФС в виде уравнений линейной регрессии. Найдены математические статистические модели «свойства ДСтП – технологические факторы получения КФС». Полученные зависимости позволяют синтезировать КФС заданного функционального состава и изготавливать экологически безопасные ДСтП на их основе.

Согласно литературным данным, в странах Западной Европы постоянно повышаются требования к токсичности древесностружечных плит (ДСтП). Например, в настоящее время в Германии разрешается применение ДСтП с выделением формальдегида не более 8,5 мг/100 г плиты и через 3 месяца – не более 6,5 мг/100 г; в школьных и дошкольных учреждениях Чехии возможно применение ДСтП с уровнем выделения формальдегида не более 6,5 мг/100 г плиты. Поэтому проблема создания экологически безопасных ДСтП, имеющих высокие физико-механические свойства при использовании карбамидоформальдегидных смол (КФС) будет всегда оставаться актуальной. Одним из методов по снижению токсичности ДСтП является изменение функционального состава КФС, применяющихся для их изготовления, о чем свидетельствует ряд литературных данных [1, 2].

В данной работе приведены результаты по изучению взаимосвязи свойств ДСтП и функционального состава КФС, а также влияние технологических факторов получения КФС на ее функциональный состав и свойства ДСтП.

Для получения экспериментально-статистических математических зависимостей свойств КФС и ДСтП (выходных факторов) от значений технологических факторов синтеза КФС (входных факто-

ров) был проведен лабораторный эксперимент с использованием метода математического планирования по насыщенному плану Плакетта-Бермана [3]. В основу метода синтеза КФС положен новый метод [4, 5], отличительной особенностью которого является предварительное получение карбамидоформальдегидного предконденсата (КФПК).

Выбор входных факторов и областей их изменения основан на литературных данных и предварительном изучении процесса получения КФС. Области изменения входных факторов представлены в табл.1.

За выходные параметры были взяты:

свойства смол: массовая доля сухого остатка (y_1), массовая доля свободного формальдегида (y_2), массовая доля метилольных групп (метод титриметрии) (y_3), вязкость условная по ВЗ-4 (y_4), время желатинизации с 1% NH_4Cl (y_5), смешиваемость воды со смолой (y_6);

Таблица 1

Области изменения входных факторов

Параметры	x_i	Значение параметра	
		max (+1)	min (-1)
Количество этиленгликоля, моль/моль карбамида	x_1	0,004	0
К.Ф в КФПК, моль/моль	x_2	1,6	1,0
Количество аммиака при получении КФПК, моль/моль формальдегида	x_3	0,066	0
pH конденсационного раствора	x_4	8,5	7,0
Ф:К (н), моль/моль	x_5	2,05	1,92
Температура на стадии щелочной конденсации, °C	x_6	90	80
pH на стадии кислой конденсации	x_7	5,5	4,0
Водное число вода:смола, ед.	x_8	4	2
Температура на стадии доконденсации, °C	x_9	65	40
Ф:К (о) в готовой КФС, моль/моль	x_{10}	1,25	1,05

функциональный состав КФС: содержание метилольных групп МГ (y_7), монометилолкарбамида ММК (y_8), третичного азота ТА (y_9), общего азота ОА (y_{10}), отношение суммы первичных и вторичных амидных групп к метилольным $(\text{ПА}+\text{ВА})/\text{МГ}$ (y_{11});

свойства ДСтП: выделение формальдегида по методу WKI (y_{12}), разбухание по толщине (y_{13}), предел прочности при изгибе (y_{14}), предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты (y_{15}), водопоглощение (y_{16}).

Матрица эксперимента с кодированными значениями факторов для 16 опытов по плану Плакетта-Бермана представлена в табл. 2. Для оценки ошибок определения показателей свойств объектов были использованы 5 “мнимых факторов” (с 11 по 15). Расчет квадратичной ошибки в измерении отклика производился по формуле:

$$S^2_{\text{воспр}} = N(b_{k+1}^2 + b_{k+2}^2 + \dots + b_{N-1}^2) / N - k - 1,$$

где b_{k+1} , b_{k+2} , b_{N-1} – эффекты мнимых факторов.

Таблица 2

Матрица планирования ненасыщенного плана Плакетта-Бермана

№ опыта	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7	z_8	z_9	z_{10}	11	12	13	14	15
1 ПБ	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
2 ПБ	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
3 ПБ	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
4 ПБ	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
5 ПБ	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
6 ПБ	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
7 ПБ	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
8 ПБ	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1
9 ПБ	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1
10 ПБ	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1
11 ПБ	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1
12 ПБ	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1
13 ПБ	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1
14 ПБ	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1
15 ПБ	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
16 ПБ	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

В соответствии с планом эксперимента (см. табл. 2) был проведен синтез КФС без повторения опытов и осуществлен анализ смол через 5-7 дней с момента изготовления образцов КФС. Средние арифметические результаты определения свойств смол приведены в табл. 3.

Свойства КФС оценивали по методикам ГОСТ 14231-88, содержание общего азота в КФС определяли по Кьельдалю или на автоматическом анализаторе С, Н, N, О. Методом ИК-спектроскопии были определены содержание метилольных групп (МГ), монометилолкарбамида (ММК) и массовая доля третичного азота. Исходя из содержания общего азота и доли третичного азота рассчитывали содержание в КФС третичных (ТА) и суммарное количество первичных и вторичных амидных групп (ПА+ВА). Средние арифметические результаты определения функционального состава КФС представлены в табл. 4, а физико-механические свойства ДСтП в табл. 5.

Для получения экспериментально-статистических математических зависимостей свойств КФС и ДСтП от технологических факторов синтеза смолы был проведен регрессионный анализ полученных результатов эксперимента [6] с вероятностной оценкой адекватности моделей экспериментальным данным.

Таблица 3

Средние арифметические значения физико-химических свойств КФС						
№ опы-та	Массовая доля, %			Услов-ная вяз-кость по ВЗ-4, с (y ₄)	Время же-латиниза-ции, с (y ₅)	Предельная смешиваемость воды со смолой, объем.ч (y ₆)
	сухого остатка (y ₁)	свободного формальде-гида (y ₂)	метилоль-ных групп (y ₃)			
1 ПБ	67,6	0,07	9,9	65	54	4
2 ПБ	66,2	0,08	7,8	76	83	5
3 ПБ	57,3	0,08	7,8	42	58	1
4 ПБ	65,5	0,07	9,7	39	86	4
5 ПБ	60,7	0,12	8,7	53	67	3
6 ПБ	67,9	0,11	9,5	54	102	5
7 ПБ	57,9	0,12	8,4	50	68	3
8 ПБ	70,0	0,12	8,9	60	84	5
9 ПБ	60,6	0,08	8,9	62	75	3
10 ПБ	66,8	0,14	11,6	44	53	4
11 ПБ	60,6	0,13	7,8	46	105	2
12 ПБ	66,0	0,10	12,1	37	54	5
13 ПБ	66,5	0,07	8,1	60	90	5
14 ПБ	64,7	0,13	10,7	39	53	3
15 ПБ	65,4	0,11	7,4	118	90	3
16 ПБ	69,2	0,17	9,0	107	85	5

Таблица 4

Содержание функциональных групп и группировок в КФС,
моль/кг сухого остатка смолы

№ опыта	МГ (y ₇)	ММК (y ₈)	ТА (y ₉)	ОА (y ₁₀)	ПА+ВА (y ₁₁)	
					МГ	
1 ПБ	4,26	2,5	5,8	23,2	4,1	
2 ПБ	2,87	4,2	9,3	24,7	5,3	
3 ПБ	3,68	2,2	6,6	25,5	5,2	
4 ПБ	3,55	3,7	9,2	26,6	4,9	
5 ПБ	3,87	2,8	7,5	26,2	4,8	
6 ПБ	3,06	3,2	9,2	25,6	5,3	
7 ПБ	4,06	2,6	7,9	27,0	4,7	
8 ПБ	3,58	3,3	8,5	24,7	4,5	

Окончание табл. 4

№ опыта	МГ (y ₇)	ММК (y ₈)	ТА (y ₉)	ОА (y ₁₀)	ПА+ВА МГ (y ₁₁)
9 ПВ	3,55	2,5	8,2	25,9	5,0
10 ПВ	4,81	1,8	5,6	22,5	3,5
11 ПВ	3,44	3,5	8,2	26,7	5,4
12 ПВ	4,48	2,8	5,4	21,5	3,6
13 ПВ	2,65	3,6	9,9	26,1	6,1
14 ПВ	4,94	2,7	5,3	22,0	3,4
15 ПВ	2,48	3,1	8,4	26,1	7,1
16 ПВ	3,26	3,0	8,1	24,0	4,9

Таблица 5

Свойства ДСтП, приведенные к плотности 700 кг/м³

№ опыта	Выделение формальдегида по методу WKI, мг/100 г (y ₁₂)	Разбухание за 24 ч, % (y ₁₃)	Предел прочности при изгибе, МПа (y ₁₄)	Предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты, МПа (y ₁₅)	Водопоглощение за 24 ч, % (y ₁₆)
1 ПВ	2,4	21	18	0,81	66
2 ПВ	2,9	31	16	0,38	80
3 ПВ	9,4	27	16	0,55	66
4 ПВ	0	27	17	0,47	75
5 ПВ	6,1	24	19	0,64	60
6 ПВ	0	29	16	0,45	76
7 ПВ	9,9	24	16	0,66	52
8 ПВ	1,4	31	19	0,36	75
9 ПВ	3,6	23	17	0,65	69
10 ПВ	7,7	19	18	0,89	63
11 ПВ	0,9	35	19	0,31	80
12 ПВ	8,5	20	19	0,82	62
13 ПВ	2,1	36	14	0,32	89
14 ПВ	9,6	22	18	0,76	64
15 ПВ	1,3	33	17	0,35	80
16 ПВ	2,6	30	17	0,38	77

Экспериментально-статистические модели объектов представлялись в виде полинома первой степени с линейными эффектами факторов:

$$\bar{y}_j = b_0^{(j)} + b_1^{(j)} * z_1 + b_2^{(j)} * z_2 + \dots + b_i^{(j)} * z_i + \dots + b_k^{(j)} * z_k + e,$$

где $b_0, b_1, b_2, \dots, b_p, \dots, b_k$ – коэффициенты уравнения для $k=10$ факторов; e – ошибки, допускаемые при описании данным полиномом истинной зависимости свойств объекта от величины входных факторов.

Полученные параметры математических зависимостей приведены в табл. 6-8.

Для определения оптимальных условий синтеза КФС, обеспечивающих получение ДСтП класса Е0 с заданными физико-механическими показателями, были решены две системы неравенств. Системы неравенств были составлены с использованием экспериментально-статистических моделей «свойства ДСтП – технологические факторы получения КФС» (см. табл. 7).

Система уравнений для расчета условий получения

ДСтП Е0 марки П-В

$$y_{12}(z_j) = -11,356 - 8,33 \cdot z_1 + 2,67 \cdot z_2 + 0,15 \cdot z_3 + 0,88 \cdot z_7 + 0,85 \cdot z_8 - 0,1 \cdot z_9 + 12,67 \cdot z_{10} \leq 5;$$

$$y_{13}(z_j) = 121,3 + 24,83 \cdot z_1 + 0,62 \cdot z_3 - 16,35 \cdot z_5 + 0,66 \cdot z_8 - 57,17 \cdot z_{10} < 33;$$

$$y_{14}(z_j) = 17,68 - 29,33 \cdot z_1 - 5,48 \cdot z_2 - 0,14 \cdot z_6 - 1,15 \cdot z_7 + 1,48 \cdot z_8 + 0,12 \cdot z_9 + 10,5 \cdot z_{10} > 14;$$

$$y_{15}(z_j) = -1,505 + 0,14 \cdot z_2 - 0,019 \cdot z_3 - 0,038 \cdot z_4 + 0,044 \cdot z_7 - 0,0017 \cdot z_9 + 1,813 \cdot z_{10} > 0,3;$$

$$y_{16}(z_j) = 174,21 + 136,94 \cdot z_1 + 21,99 \cdot z_2 - 8,74 \cdot z_7 - 8,27 \cdot z_8 + 0,15 \cdot z_9 - 64,2 \cdot z_{10} < 95.$$

Система уравнений для расчета условий получения

ДСтП Е0 марки П-А

$$y_{12}(z_j) = -11,356 - 8,33 \cdot z_1 + 2,67 \cdot z_2 + 0,15 \cdot z_3 + 0,88 \cdot z_7 + 0,85 \cdot z_8 - 0,1 \cdot z_9 + 12,67 \cdot z_{10} \leq 5;$$

$$y_{13}(z_j) = 121,3 + 24,83 \cdot z_1 + 0,62 \cdot z_3 - 16,35 \cdot z_5 + 0,66 \cdot z_8 - 57,17 \cdot z_{10} < 22;$$

$$y_{14}(z_j) = 17,68 - 29,33 \cdot z_1 - 5,48 \cdot z_2 - 0,14 \cdot z_6 - 1,15 \cdot z_7 + 1,48 \cdot z_8 + 0,12 \cdot z_9 + 10,5 \cdot z_{10} > 16;$$

$$y_{15}(z_j) = -1,505 + 0,14 \cdot z_2 - 0,019 \cdot z_3 - 0,038 \cdot z_4 + 0,044 \cdot z_7 - 0,0017 \cdot z_9 + 1,813 \cdot z_{10} > 0,3;$$

$$y_{16}(z_j) = 174,21 + 136,94 \cdot z_1 + 21,99 \cdot z_2 - 8,74 \cdot z_7 - 8,27 \cdot z_8 + 0,15 \cdot z_9 - 64,2 \cdot z_{10} < 80.$$

Результаты решения системы неравенств, представленных в виде граничных значений технологических факторов, для ДСтП класса эмиссии формальдегида Е0 марки П-В приведены в табл. 9. Выполненные расчеты с использованием второй системы неравенств, т.е. возможность изготовления ДСтП Е0 марки П-А, решения не имеют.

Таблица 6

Параметры экспериментально-статистической модели свойств карбоамиформальдегидной смолы

Параметры модели	Значения параметров модели для свойств продуктов реакции (y_j)				
	Вязкость по ВЗ-4, с (y_1)	Массовая доля метильных групп, % (y_2)	Массовая доля свободного формальдегида, % (y_3)	Предельная связываемость смолы с водой (y_4)	Время желативязации при 100°C, с (y_5)
$b_0^{(1)} / F_0^{(1)}$	980,39/—	-16,422/—	0,492/—	18,76/—	83,127/—
$b_1^{(1)} / F_1^{(1)}$	210,00/1,03	-8,083/2,63	-0,425/3,22	—	—
$b_2^{(1)} / F_2^{(1)}$	34,44/0,75	—	-0,0916/3,75	2,647/3,12	-23,685/10,66
$b_3^{(1)} / F_3^{(1)}$	—	-0,338/11,06	-0,0075/2,51	-0,245/1,82	-1,932/5,16
$b_4^{(1)} / F_4^{(1)}$	-26,22/2,71	—	-0,0367/3,75	-1,647/5,13	-5,73/2,65
$b_5^{(1)} / F_5^{(1)}$	-235,90/1,65	6,769/2,08	-0,115/0,28	-3,620/0,19	—
$b_6^{(1)} / F_6^{(1)}$	-1,57/0,43	0,0435/0,51	0,0025/0,78	0,0529/0,24	1,57/8,76
$b_7^{(1)} / F_7^{(1)}$	-12,44/0,61	—	0,0167/0,78	0,235/0,14	11,702/11,07
$b_8^{(1)} / F_8^{(1)}$	-6,17/0,27	-0,27/0,78	0,0188/1,90	—	—
$b_9^{(1)} / F_9^{(1)}$	—	—	—	—	0,262/51,74
$b_{10}^{(1)} / F_{10}^{(1)}$	-81,67/0,94	9,267/13,83	-0,05/0,28	-2,941/0,91	-112,556/26,75
β_j	0,636	0,883	0,751	0,700	0,964

Таблица 7
 Параметры экспериментально-статистической модели физико-механических свойств и токсичности ДСП

Параметры модели	Значения параметров модели для свойств продуктов реакции (y_j)				Выделение формальдегида (метод WKD), мг/100 г (y_{12})
	Водопоглощение за 24 ч (y_{18})	Разбухание за 24 ч (y_{19})	Прочность при изгибе, МПа (y_{14})	Прочность при разрыве, МПа (y_{15})	
$b_0^{(j)} / F_0^{(j)}$	174,211/—	121,303/—	17,680/—	1,505/—	-11,356/—
$b_1^{(j)} / F_1^{(j)}$	136,936/27,57	24,833/9,12	-29,333/4,35	—	-8,33/0,98
$b_2^{(j)} / F_2^{(j)}$	21,987/27,01	—	-5,486/5,06	0,137/3,99	2,67/2,71
$b_3^{(j)} / F_3^{(j)}$	—	0,617/13,50	—	-0,019/6,01	0,15/1,00
$b_4^{(j)} / F_4^{(j)}$	—	—	—	-0,038/1,73	—
$b_5^{(j)} / F_5^{(j)}$	—	-16,346/5,94	—	—	—
$b_6^{(j)} / F_6^{(j)}$	—	—	-0,144/0,97	—	—
$b_7^{(j)} / F_7^{(j)}$	- 8,738/26,67	—	-1,155/1,14	0,0438/2,66	0,883/2,28
$b_8^{(j)} / F_8^{(j)}$	- 8,273/31,87	0,663/2,31	1,483/3,34	—	0,85/3,06
$b_9^{(j)} / F_9^{(j)}$	0,150/1,64	—	0,119/3,34	-0,0017/0,71	-0,100/6,61
$b_{10}^{(j)} / F_{10}^{(j)}$	-64,20/24,24	-57,167/193,37	10,50/2,23	1,813/77,02	12,67/9,05
β_j	0,965	0,976	0,667	0,947	0,953

Таблица 8

Параметры экспериментально-статистической модели функционального состава КФС

Параметры модели	Значения параметров модели для функционального состава КФС (y_j)					
	МГ (y_1)	ММК (y_2)	ТА (y_3)	ОА (y_{10})	(ПА+ВА)/МГ (y_{11})	
$b_0^{(j)} / F_0^{(j)}$	-4,019/—	0,877/—	-3,452/—	-12,205/—	9,337/—	
$b_1^{(j)} / F_1^{(j)}$	-2,483/1,00	—	-4,5/0,38	—	5,75/2,02	
$b_2^{(j)} / F_2^{(j)}$	—	1,06/6,79	-1,389/1,30	-4,273/13,21	-0,583/0,68	
$b_3^{(j)} / F_3^{(j)}$	-0,105/4,28	0,063/1,50	—	—	0,125/3,15	
$b_4^{(j)} / F_4^{(j)}$	—	—	—	1,035/2,37	0,333/1,40	
$b_5^{(j)} / F_5^{(j)}$	1,846/0,62	3,654/3,67	6,667/1,40	14,658/3,81	—	
$b_6^{(j)} / F_6^{(j)}$	-0,019/0,41	—	0,08/0,997	0,09/0,86	—	
$b_7^{(j)} / F_7^{(j)}$	—	—	0,755/2,40	1,137/3,06	—	
$b_8^{(j)} / F_8^{(j)}$	-0,257/2,86	—	—	0,476/0,89	-0,212/71,35	
$b_9^{(j)} / F_9^{(j)}$	—	-0,011/1,12	—	—	—	
$b_{10}^{(j)} / F_{10}^{(j)}$	4,641/13,96	-5,318/18,97	-9,063/12,33	-7,819/4,92	-5,50/10,16	
β_j	0,894	0,853	0,851	0,865	0,882	

Решение систем неравенств с использованием экспериментально-статистических моделей «функциональный состав КФС - технологические факторы получения КФС» (см. табл. 6) приводит к получению аналогичных результатов.

Таблица 9

Граничные значения технологических факторов
получения КФС для изготовления ДСтП класса Е0

ДСтП	Значения технологических факторов, кодированные значения									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Е0, П-Б	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

С использованием граничных значений технологических факторов (табл. 9) и статистических математических моделей «свойства ДСтП - технологические факторы получения КФС» (табл. 7) были рассчитаны свойства ДСтП марки П-Б, Е0:

Выделение формальдегида по методу WKIг (y_{12}), мг/100 г.....	4,9
Разбухание за 24 ч (y_{13}), %	29
Предел прочности при растяжении перпендикулярно	
пласти плиты (y_{15}), МПа	0,38
Водопоглощение за 24 ч (y_{16}), %	92,

Как видно из рассчитанных значений свойств ДСтП, изготовление плит класса Е0 и марки П-А невозможно в связи с неудовлетворительными значениями следующих показателей: разбухание за 24 ч, предел прочности при изгибе и высокое водопоглощение.

С целью объяснения полученных результатов была исследована зависимость свойств ДСтП (y_j) от функционального состава КФС (y_i) в виде уравнений линейной регрессии :

$y_j = a_j * y_i + c_j + e$ ($j=12...16, i=7...11$), где a, c - константы уравнения регрессии, e - ошибки, допускаемые при описании данным уравнением истинной зависимости свойств объекта от величины функционального состава КФС.

Были установлены следующие зависимости, влияющие на токсичность (рис.1-3). Оказалось, что разные функциональные группы оказывают различное влияние на выделение формальдегида из ДСтП. Например, увеличение содержания МГ в КФС приводит к возрастанию эмиссии формальдегида, в то время как увеличение ТА

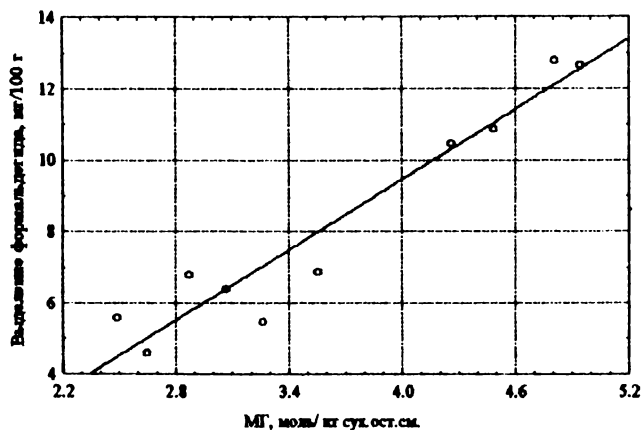


Рис.1. Зависимость выделения формальдегида из ДСтП от содержания МГ в КФС ($r^2 = 0,97$)

и соотношения (ПА+ВА)/МГ снижают выделение формальдегида. Для изменения выделения формальдегида из ДСтП на одно и то же число (например меньше 10 мг/100 г) требуется большее изменение соотношения (ПА+ВА)/МГ, чем для КФС класса Е2 (больше 10 мг/100 г) (рис. 2).

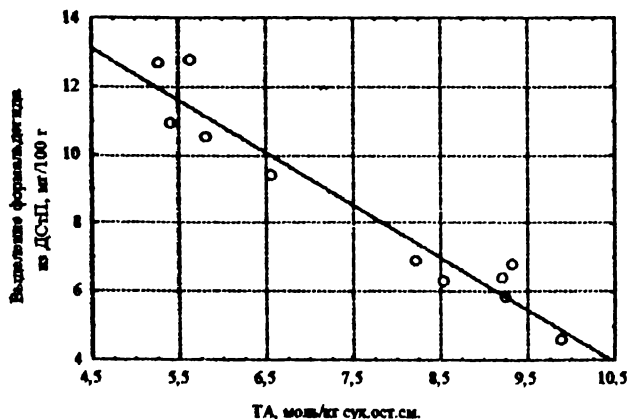


Рис.2. Зависимость выделения формальдегида из ДСтП от содержания третичного азота в КФС ($r^2 = 0,965$)

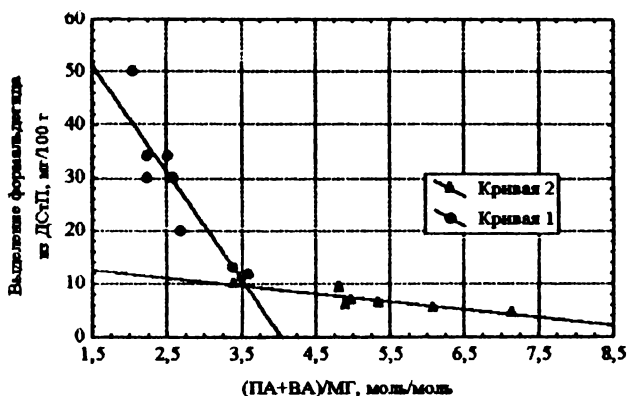


Рис.3. Зависимость выделения формальдегида из ДСтП от соотношения (ПА+ВА)/МГ в КФС для класса плит: 1 - Е2 и Е3 ($r^2=0,935$); 2 - Е1 и Е0 ($r^2=0,923$)

Зависимости токсичности и физико-механических свойств ДСтП от функционального состава КФС, выраженные в виде уравнений линейной регрессии, приведены в табл. 10.

Для определения набора функциональных групп в КФС, необходимых для изготовления экологически безопасных ДСтП (Е0) марки П-А и П-Б, были решены системы неравенств.

Например, для $(\text{ПА}+\text{ВА})/\text{МГ}$ системы неравенств имеют вид:
 получение ДСтП П-А, Е0 получение ДСтП П-Б, Е0

$$\left\{ \begin{array}{l} y_{12} = -2,24 x_{11} + 15,86 \leq 5; \\ y_{13} = 4,69 x_{11} + 3,08 \leq 22; \\ y_{14} = -0,89 x_{11} + 21,24 \geq 16; \\ y_{15} = -0,21 x_{11} + 1,61 \geq 0,3; \\ y_{16} = 8,96 x_{11} + 30,99 \leq 80; \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} y_{12} = -2,24 x_{11} + 15,86 \leq 5; \\ y_{13} = 4,69 x_{11} + 3,08 \leq 33; \\ y_{14} = -0,89 x_{11} + 21,24 \geq 14; \\ y_{15} = -0,21 x_{11} + 1,61 \geq 0,3; \\ y_{16} = 8,96 x_{11} + 30,99 \leq 95. \end{array} \right.$$

Решение данных систем неравенств показало возможность получения экологически безопасных ДСтП только марки П-Б. При получении плит марки П-А возможен брак по разбуханию по толщине.

Таким образом, было определено, при каком функциональном составе КФС обеспечивается возможность изготовления ДСтП класса эмиссии формальдегида Е0 марки П-Б.

Таблица 10
Уравнения линейной регрессии зависимости свойств ДСП от функционального состава КФС

Свойства ДСП	$(\text{ПА}+\text{ВА})/\text{МП}$ (y_{11})	ОА (y_{10})	ТА (y_9)	ММК (y_8)	МГ (y_7)
Выделение формальдегида по методу МК (y_{12})	$-2,24 y_{12} + 15,86$	$-1,72 y_{11} + 45,91$	$-2,38 y_{10} + 21,81$	$-4,4 y_9 + 18,61$	$3,23 y_8 - 6,86$
Разбухание по толщине за 24 ч (y_{13})	$4,69 y_{12} + 3,08$	$3,09 y_{11} - 47,52$	$3,05 y_{10} + 3,85$	$10,86 y_9 - 3,86$	$-6,94 y_8 + 51,62$
Предел прочности при изгибе (y_{14})	$-0,89 y_{12} + 21,24$	$-0,93 y_{11} + 39,01$	$-0,84 y_{10} + 3,42$	$-0,77 y_9 + 19,34$	$2,58 y_8 + 8,07$
Предел прочности при растяжении перпендикулярно плоскости плиты (y_{15})	$-0,21 y_{12} + 1,61$	$-0,097 y_{11} + 2,99$	$-0,12 y_{10} + 1,54$	$-0,26 y_9 + 1,35$	$0,28 y_8 - 0,43$
Водопоглощение за 24 ч (y_{16})	$8,96 y_{12} + 30,99$	Регрессионная зависимость не установлена	$4,19 y_{10} + 39,56$	$7,53 y_9 + 49,96$	$-10,12 y_8 + 109,63$

Найденные области значений содержания функциональных групп в КФС для изготовления ДСтП класса эмиссии формальдегида E0 представлены графически (рис.4-8).

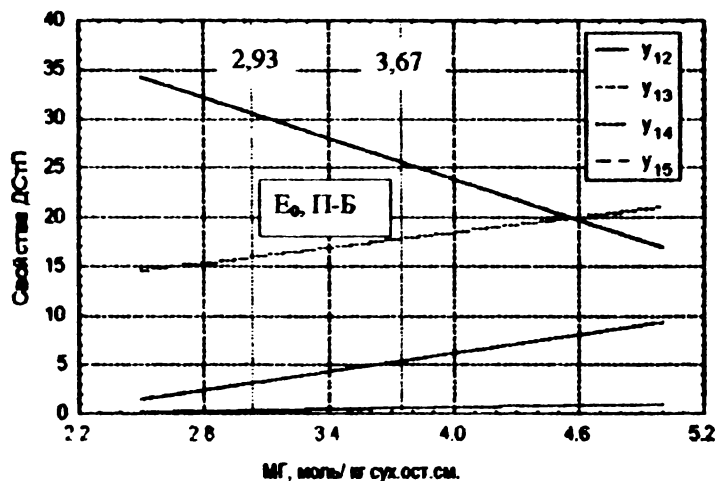


Рис. 4 Область допустимого содержания МГ в КФС для получения экологически безопасных ДСтП марки П-В

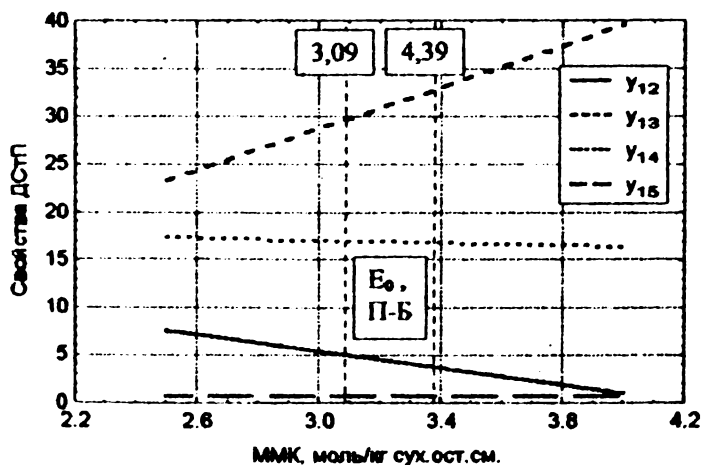


Рис. 5. Область допустимого содержания ММК в КФС для получения экологически безопасных ДСтП марки П-В

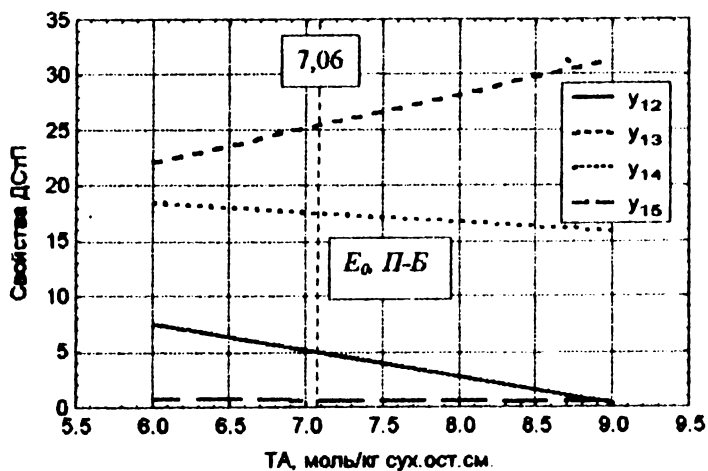


Рис. 6. Область допустимого содержания ТА в КФС для получения экологически безопасных ДСтП марки П-Б

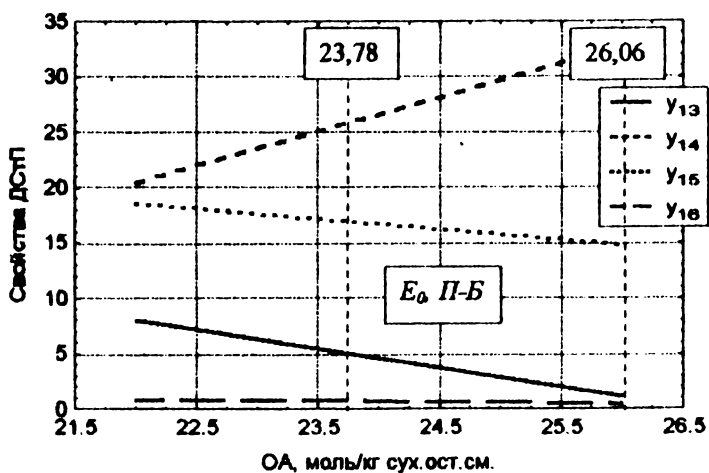


Рис. 7. Область допустимого содержания ОА в КФС для получения экологически безопасных ДСтП марки П-Б

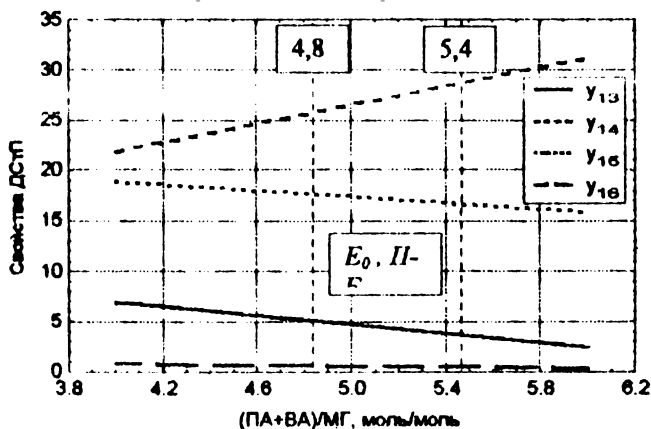


Рис. 8. Область допустимого содержания (ПА+ВА)/МГ в КФС для получения экологически безопасных ДСП марки П-В

Таким образом, проведенные исследования показали, что синтез КФС с требуемым набором функциональных групп позволяет изготавливать экологически безопасные ДСП.

Литература

1. Глухих В.В. Снижение токсичности древесных композиционных материалов на основе оптимизации химического состава карбамидных связующих: Дис. ... докт. техн. наук/ УГЛТА. Екатеринбург, 1994. 172 с.
2. Ferg E.E., Pizzi A., Levendis D.C. Correlation of particleboard strength and formaldehyde emission with urea step additions and ^{13}C NMR of UF resins. Holsforsch. und Holzverwent, 1993. 45, №5. P.88-92.
3. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии. М.: Высш. шк., 1985. 327 с.
4. Патент 2061707 РФ. МКИ⁶ С 08 G 12/12. Способ получения карбамидоформальдегидной смолы/ В.Г.Бурындин, В.В.Глухих и др. Заявл. 08.02.94; Опубл. 10.06.96, Бюл. №16.
5. Патент 2081886 РФ. МКИ⁶ С 08 G 12/12. Способ получения карбамидоформальдегидной смолы/ В.Г.Бурындин, В.В.Глухих и др. Заявл. 18.10.94; Опубл. Бюл. №17, 1997.
6. Тюрин Ю.Н., Макаров А.А. Анализ данных на компьютере. М.: Финансы и статистика, 1995. 384 с.